



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 196 21 760 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**G 01 F 23/296**  
C 08 L 27/18  
C 08 L 27/18  
H 05 K 1/18

②1 Aktenzeichen: 196 21 760.1  
②2 Anmeldetag: 30. 5. 86  
④3 Offenlegungstag: 2. 1. 97

DE 196 21 760 A 1

③0 Unionspriorität: ③2 ③3 ③1  
29.06.95 GB 9513267

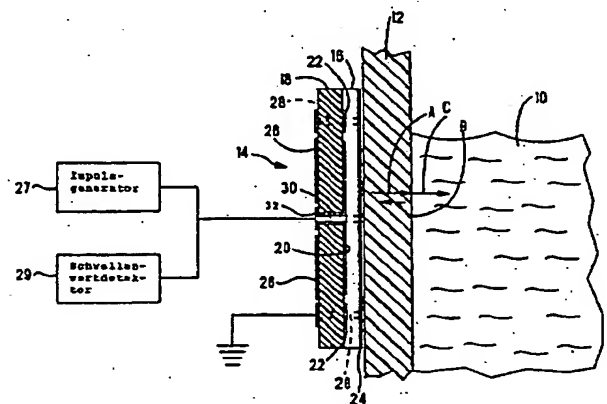
⑦1 Anmelder:  
The Whitaker Corp., Wilmington, Del., US

⑦4 Vertreter:  
Klunker und Kollegen, 80797 München

⑦2 Erfinder:  
Brown, Richard Hunter, Chesham, Buckinghamshire,  
GB

⑤4 **Ultraschall-Flüssigkeitsniveaudetektor**

⑤7 Offenbart ist ein Flüssigkeitsniveau-Detektor (14) mit einem piezoelektrischen Element (18), das an einer Fläche einer Schicht aus akustisch übertragendem Material (12) angebracht ist, wobei die akustische Impedanz des piezoelektrischen Elements und der Materialschicht (12) derart sind, daß ein von dem piezoelektrischen Element (18) erzeugtes akustisches Signal oder Ultraschallsignal (A) sich durch die Materialschicht (12) fortpflanzt und in Abhängigkeit davon, ob sich die gegenüberliegende Fläche der Materialschicht (12) mit der zu messenden Substanz (10) in Berührung befindet oder nicht, an der gegenüberliegenden Fläche übertragen (C) bzw. reflektiert (B) wird.



DE 196 21 760 A 1

## Beschreibung

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf einen Flüssigkeitsniveau-Detektor, der Ultraschallenergie zum Detektieren des Niveaus einer Flüssigkeit in einem Behälter verwendet.

Dabei schafft die Erfindung in einer Ausführungsform einen schalterartigen Ja/Nein-Betrieb, der anzeigt, ob sich die Flüssigkeit über oder unter einem feststehenden Punkt befindet. In einer weiteren Ausführungsform schafft die Erfindung ein sich über einen Bereich erstreckendes Flüssigkeitsniveaumaaß.

Eine typische Anordnung des Standes der Technik für einen Ja/Nein-Betrieb verwendet einen Schwimmkörper zum Schließen eines mechanischen Schalters oder einen Magneten, der von einem Schwimmkörper getragen wird, um einen Reed-Schalter zu betätigen. Solche Systeme machen ein Eindringen in das Behältervolumen erforderlich und besitzen eine begrenzte Zuverlässigkeit.

Zur Messung des Flüssigkeitsniveaus über einen Bereich verwendet eine typische Anordnung des Standes der Technik einen Schwimmkörper zur Betätigung eines Potentiometers, das in eine Meßschaltung geschaltet ist. Dies besitzt ähnliche Nachteile, wie sie vorstehend erläutert wurden.

Ferner ist es bekannt, ein Flüssigkeitsniveau mittels Ultraschall zu messen, indem man die Laufzeit mißt, die ein Ultraschallimpuls zur Fortpflanzung vom Boden des Behälters zu der Flüssigkeitsoberfläche sowie für eine Reflexion zur Rückkehr zum Boden des Behälters benötigt. Solche Systeme besitzen eine gute Zuverlässigkeit, da sie keine beweglichen Teile aufweisen, jedoch sind sie relativ komplex und teuer.

Zusätzlich dazu ist es bekannt, Flüssigkeitsniveaus durch eine Anordnung von Sende- und Empfangseinrichtungen zu messen, die entlang der Höhe einer Flüssigkeit in dem Behälter im Abstand voneinander vorgesehen sind, indem man ein akustisches Signal zwischen den Sende- und Empfangseinrichtungen hindurchführt.

Dies ist in der EP 0 515 254 und der WO 93/02340 offenbart.

Gemäß der vorliegenden Erfindung ist ein Flüssigkeitsniveau-Detektor geschaffen, mit einem piezoelektrischen Element, das an einer Materialschicht angebracht ist, wobei die akustische Impedanz des piezoelektrischen Elements und der Materialschicht derart ausgebildet sind, daß ein von dem piezoelektrischen Element erzeugtes akustisches Signal oder Ultraschallsignal sich durch die Materialschicht fortpflanzt und in Abhängigkeit davon, ob sich die gegenüberliegende Fläche der Materialschicht mit einer Flüssigkeit in Berührung befindet oder nicht, an der gegenüberliegenden Fläche übertragen bzw. reflektiert wird.

Vorzugsweise weist das piezoelektrische Element eine Schicht aus piezoelektrischer Polymerfolie auf, wobei polarisiertes PVDF oder P(VDF-TrFE) am meisten bevorzugt ist.

Die Folie ist vorzugsweise auf einer gedruckten Schaltungsplatte angebracht, die eine Kupferoberfläche aufweist, die zur Bildung einer oder mehrerer aktiver Signalelektroden geätzt ist.

Das Kupfer kann zur Bildung einer Vielzahl voneinander unabhängiger Signalelektroden geätzt sein, die mit einer einzigen Folienschicht zusammenwirken, um eine Anordnung voneinander unabhängiger Ultraschallwandler zu bilden.

Das Kupfer kann auch zur Bildung einer ineinander-

greifenden Elektrodenstruktur mit Senderelektrode(n) und Empfängerelektrode(n) geätzt sein.

Die gegenüberliegende Fläche der gedruckten Schaltungsplatte kann zur Verschaltung als Erdungsebene ganz oder im wesentlichen mit Kupfer bedeckt sein.

Die Materialschicht kann Teil der Wand eines Behälters sein, oder sie kann Teil einer Umhüllung sein, die den Detektor umschließt, um eine Platzierung des Detektors im Inneren eines Behälters zu ermöglichen.

Typischerweise besitzt die Materialschicht eine Dicke von 0,5 mm bis 50 mm und eine akustische Impedanz von 1 bis  $10 \times 10^8 \text{ Nsm}^{-3}$ .

Eine solche Vorrichtung kann einen Reed-Schalter ersetzen, der durch einen in einem Schwimmkörper enthaltenen Magneten betätigt wird. Solche Reed-Schalter sind für starke Stöße oder Schläge empfindlich, und die Metallkontakte des Schalters besitzen eine begrenzte Lebensdauer hinsichtlich der Anzahl von Kontaktschließvorgängen, die bis zu einem Versagen möglich ist. Die erforderliche Schwimmkörperanordnung kann wertvollen Raum im Inneren des Behälters verbrauchen, und die Montage erfordert normalerweise ein Durchbrechen der Behälterwandung zur Ermöglichung des Einbaus.

Bevorzugte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Die Erfindung und Weiterbildungen der Erfindung werden im folgenden anhand der zeichnerischen Darstellungen mehrerer Ausführungsbeispiele noch näher erläutert. In den Zeichnungen zeigen:

Fig. 1 eine Querschnittsansicht eines Flüssigkeitspiegel-Schalters, der ein Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung bildet;

Fig. 2 Wellenformen unter Darstellung der Arbeitsweise des Schalters der Fig. 1;

Fig. 3 eine Querschnittsansicht einer Schalteranordnung, die ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung bildet; und

Fig. 4 eine Darstellung einer modifizierten Version des Ausführungsbeispiels der Fig. 3.

Vor der Bezugnahme auf die Zeichnungen wird nun zuerst das der Erfindung zugrundeliegende Konzept erläutert.

Ein Ultraschallwandler wird vorzugsweise unter Verwendung einer piezoelektrischen Polymerfolie gebildet wie z. B. Polyvinylidenfluorid (PVDF) oder Copolymer P(VDF-TrFE). Ein Merkmal solcher Piezopolymermaterialien besteht in ihrer niedrigen akustischen Impedanz (typischerweise  $4,1 \times 10^8 \text{ Nsm}^{-3}$ ) und ihrer hohen Eigendämpfung. Diese physikalischen Eigenschaften gestalten die Übertragung eines schnellen Ultraschallimpulses in Materialien, deren akustische Impedanz angemessen nahe der des piezoelektrischen Wandlers ist; diese Art von Material beinhaltet übliche Kunststoffe. Diese können zur Bildung von Tanks und Behältern durch solche Verfahren, wie Spritzgießen oder Blasgießen verwendet werden und beinhalten Materialien, wie Polyethylen und Polypropylen.

Wenn sich der Ultraschallimpuls durch das Wandmaterial fortgepflanzt hat und an der Grenzfläche ankommt, wird sein Verhalten durch das jenseits der Grenzfläche vorhandene Medium stark beeinflusst. Wenn die akustische Impedanz des Mediums sehr niedrig ist (z. B. wenn das Medium Luft, Gas oder Dampf ist), wird der größte Teil der akustischen Energie von der Grenzfläche reflektiert und nur sehr wenig Energie wird in das Medium übertragen. Dies ist auch der Fall, wenn die akustische Impedanz des Mediums gegenüber der

des Wandmaterials sehr hoch ist. Wenn jedoch die akustische Impedanz des Mediums der des Wandmaterials ähnlich ist, wird ein großer Teil der akustischen Energie in das Medium abgestrahlt, und ein viel kleineres Echo kehrt von der Grenzfläche in das Wandmaterial zurück.

Die Echoamplituden lassen sich unter Verwendung der nachfolgenden einfachen Formel leicht schätzen:

$$R = (Z_w - Z_m) / (Z_w + Z_m)$$

wobei

$Z_w$  die akustische Impedanz des Wandmaterials und  $Z_m$  die akustische Impedanz des Mediums ist.

Wenn es sich bei dem Medium um Luft oder Gas handelt, ist die Amplitude des Rückkehrechos effektiv eins (d. h. es wird praktisch keine Energie in das Medium übertragen). Der Wandler kann eine kleine Fläche aus piezoelektrischer Polymerfolie aufweisen, die einfach an der Außenwand eines Kunststofftanks angebracht ist. Das Folienelement wird durch einen Spannungsimpuls angesteuert, und das resultierende Echo erzeugt ein elektrisches Ansprechen mit einem Schwellenwert zur Bestimmung, ob die innere Grenzfläche oder die Kunststoffwand mit Flüssigkeit benetzt ist oder nicht.

Wie nunmehr unter Bezugnahme auf Fig. 1 zu sehen ist, ist ein eine Flüssigkeit enthaltender Behälter 10 durch eine Behälterwand 12 aus einem Kunststoffmaterial wie z. B. Polyethylen gebildet. Ein allgemein mit dem Bezugszeichen 14 bezeichneter Flüssigkeitsniveau-Detektor ist an der Behälterwand 12 befestigt. Der Detektor 14 besitzt eine Piezopolymerfolie 16, die an einer gedruckten Schaltungsplatte 18 angebracht ist. Die gedruckte Schaltungsplatte 18 ist auf ihrer vorderen und hinteren Oberfläche mit geätzten Kupferschichten ausgebildet, wobei die vordere Oberfläche eine Kupferelektrode 20 trägt, die von einer Kupferumgrenzung 22 umgeben ist. Die vordere Oberfläche der Piezopolymerfolie 16 ist bei dem Bezugszeichen 24 metallisiert und durch Klebeverbindung an der gedruckten Schaltungsplatte 18 befestigt. Der Hauptteil der rückwärtigen Oberfläche der gedruckten Schaltungsplatte 18 ist von einer Kupfer-Erdungsebene 26 bedeckt, und diese ist mit der Kupferumgrenzung 22 und der Metallisierung 24 mittels Ösen 28 elektrisch verbunden. Die Elektrodenfläche 20 ist mittels einer durchplattierten Öffnung 30 mit einer elektrisch isolierten Kupferfläche 32 auf der rückwärtigen Oberfläche der gedruckten Schaltungsplatte 18 verbunden.

Durch elektrisches Verschalten des Detektors 14, wie dies in Fig. 1 gezeigt ist, wirkt die zentrale Kupferfläche 20 somit als aktive Signalelektrode, wobei sie durch die geerdeten Bereiche 22, 24 und 26 vor Interferenz elektrisch abgeschirmt ist. Ein weiterer Vorteil des Ausführungsbeispiels der Fig. 1 besteht darin, daß die Kupfersignalelektrode 20 in einem gewissen Ausmaß als Ultraschallspiegel wirkt und somit bei der Übertragung von Ultraschall in das Kunststoffwandmaterial von Hilfe ist.

Wenn ein elektrischer Impuls an den Detektor 14 angelegt wird, pflanzt sich ein akustischer Impuls A in Richtung auf das Innere des Behälters fort. Fig. 2 zeigt ein typisches akustisches Ansprechen. Der obere Teil der Fig. 2 zeigt die Situation, wenn sich der Detektor 14 auf einem Niveau befindet, auf dem keine Flüssigkeit in dem Behälter vorhanden ist und somit Luft (oder ein anderes Gas) auf der Innenseite der Behälterwand 12 vorhanden ist. In dieser Situation gibt es ein starkes Echo B von der Wand-/Luft-Grenzfläche. Der untere Teil der Fig. 2 zeigt die Situation, wenn sich der Detek-

tor 14 auf einem Niveau befindet, wo das Innere der Behälterwand 12 von einer Flüssigkeit 10 bedeckt ist. In dieser Situation ist eine angemessene gute akustische Übereinstimmung zwischen der Behälterwand 12 und der Flüssigkeit 10 vorhanden, mit dem Ergebnis, daß der größte Teil der akustischen Energie C sich in die Flüssigkeit überträgt und nur ein geringes Echo auftritt.

Fig. 1 zeigt eine typische elektronische Anordnung zur Verwendung dieses Phänomens, jedoch sind für den Fachmann auch andere Schaltungseinrichtungen erkennbar. In Fig. 1 wird ein von einem Impulsgenerator 27 erzeugtes Impulssignal über die durchplattierte Öffnung 30 an die aktive Elektrode 20 angelegt, und das reflektierte Signal wird einem Schwellenwertdetektor 29 zugeführt.

Fig. 3 zeigt ein Ausführungsbeispiel, bei dem eine Detektoranordnung 31 in eine Flüssigkeit 32 in einem Behälter (nicht gezeigt) eingetaucht ist und über ein Kabel 34 mit der äußeren Umgebung in Verbindung steht.

Die Detektoranordnung 30 weist eine Piezopolymerfolie 36 auf, die mit einer gedruckten Schaltungsplatte 38 verbunden ist, die mit einer vertikalen Anordnung von Elektrodenelementen 40 ausgebildet ist. Diese Kombination ist in ein Kunststoffgehäuse 42 (z. B. aus Polyethylen mit hoher Dichte) eingeschlossen, wobei die Piezopolymerfolie 36 geeigneterweise mit einer Wand des Gehäuses 42 verbunden ist. Das Gehäuse 42 kann ausreichend groß sein, um einen Raum 44 zu schaffen, in dem zugehörige Elektronikeinrichtungen untergebracht werden können.

Bei dieser Ausbildung wird eine Anordnung von Signalelektroden in einfacher Weise unter Verwendung einer kontinuierlichen gedruckten Schaltungsplatte gebildet, auf die eine einzelne Piezopolymerfolie auflaminiert ist. Ein Merkmal von Piezopolymerfolien besteht darin, daß kleine adressierte Flächenbereiche innerhalb eines einzelnen Flachstücks hinsichtlich ihres mechanischen Verhaltens als vollständig voneinander unabhängig behandelt werden können. Bei dem Ausführungsbeispiel der Fig. 3 können die Elektroden 40 somit nacheinander adressiert werden, so daß ein Ausgangssignal in Form eines Zuges digitaler Impulse geschaffen werden kann, die einfach gezählt werden, um ein Maß für die Flüssigkeitstiefe zu ergeben, wobei die Auflösung des Systems durch die Wahl der Anzahl von Elektrodenelementen 40 festgesetzt wird. Eine ähnliche Anordnung kann an der Außenseite eines Kunststoffbehälters angebracht werden, anstatt in das Tankinnere eingetaucht zu werden.

Bei einem alternativen Ausführungsbeispiel können die Signalelektrode(n) in zwei unabhängige Bereiche geteilt werden, die in ihrer Form ineinandergreifend angeordnet ist, so daß eine Bahn als Senderelektrode und die andere als Empfängerelektrode bezeichnet werden kann. Auf diese Weise erfolgt die elektrische Trennung der elektrischen Netzwerke, die (a) zum Erzeugen eines schnellen Sendeimpulses und (b) zum Empfangen einer elektrischen Reaktion von dem Echo erforderlich sind.

Fig. 4 zeigt eine Anordnung dieses Typs in schematischer Weise. Eine gedruckte Schaltungsplatte 50 trägt Senderelektroden 52, die in einander abwechselnder Weise mit Empfängerelektroden 56 angeordnet sind, wobei die gesamte Anordnung von einer PVDF-Folie 58 bedeckt ist.

Wenn es sich bei der Signalelektrode um ein einfaches Einzelelement handelt, wird das Sendersignal möglicherweise direkt in das Empfängernetzwerk geführt, so daß ein Sättigungsrisiko des Empfänger-Verstärkers

vorhanden ist, wenn keine Mittel vorhanden sind, um den Empfänger-Verstärker während der Übertragung aus der Schaltung herauszuschalten.

In solchen Fällen, in denen die Signalelektroden zweiseitig ineinandergreifend ausgebildet sind, ist immer noch eine Signalkomponente synchron mit der Übertragung (erzeugt durch das direkte und gleichzeitige piezoelektrische Ansprechen der Empfängerselektrode) vorhanden, jedoch mit einer viel niedrigeren Amplitude, so daß das Risiko oder Ausmaß einer Verstärker-Sättigung stark reduziert ist. Diese Verbesserung wird jedoch durch einen begleitenden Gesamtverlust bei der Signalarstärke modifiziert, und zwar aufgrund der reduzierten aktiven Flächenbereiche.

Eine alternative Lösung des Problems hinsichtlich der Schaltung des Empfänger-Verstärkers besteht in der Verwendung einer Kombination aus Verstärkern mit induktiver Abstimmung und schneller Regenerierung. Bei einer geringfügig abgestimmten Schaltung (Anpassung des kapazitiven Blindwiderstands des piezoelektrischen Elements an ein induktives Element, das zur Erzeugung eines Resonanznetzwerks ausgewählt wird, das auf die mechanische Resonanz des piezoelektrischen Elements abgestimmt ist) kann nur ein Bruchteil des Sender-Antriebssignals an den Eingangsanschlüssen des Empfänger-Verstärkers erscheinen. Gleichzeitig wird die Verstärkung des Systems bei der interessanten Frequenz gesteigert. Arbeitsfrequenzen im Bereich von 1 bis 10 MHz haben sich für einfache erhältliche piezoelektrische Polymerfolien sowie für Behälterwand-Dicken von einigen Millimetern für praktikabel erwiesen.

Vorteilhafterweise ist somit ein Sensor für die Bestimmung gebildet, ob eine Substanz, insbesondere eine Flüssigkeit, in einem Behälter vorhanden ist, wobei der Sensor als Einzeleinheit ausgebildet sein kann und die Detektion dadurch erfolgt, daß festgestellt wird, ob eine aktiven Wandlern des Sensors gegenüberliegende Fläche mit der Substanz in Berührung steht, wodurch die Notwendigkeit eliminiert ist, das akustische Signal durch die Substanz hindurchzuleiten.

#### Patentansprüche

1. Flüssigkeitsniveau-Detektor, gekennzeichnet durch ein piezoelektrisches Element (16), das an einer Fläche einer Schicht aus akustisch übertragendem Material (12) angebracht ist, wobei die akustische Impedanz des piezoelektrischen Elements und der Materialschicht (12) derart sind, daß ein von dem piezoelektrischen Element (16) erzeugtes akustisches Signal oder Ultraschallsignal (A) sich durch die Materialschicht (12) fortpflanzt und in Abhängigkeit davon, ob sich die gegenüberliegende Fläche der Materialschicht (12) mit der zu messenden Substanz (10) in Berührung befindet oder nicht, an der gegenüberliegenden Fläche übertragen (C) bzw. reflektiert (B) wird.
2. Detektor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das piezoelektrische Element (16) eine Schicht aus piezoelektrischer Polymerfolie aufweist.
3. Detektor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Folie aus polarisiertem PVDF oder P(VDF-TrFE) besteht.
4. Detektor nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Folie auf einer gedruckten Schaltungsplatte (18) mit einer Kupferoberfläche (20, 22) angebracht ist, die zur Bildung einer oder

mehrerer aktiver Signalelektroden (20) geätzt ist.

5. Detektor nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Kupfer (20, 22) zur Bildung einer Vielzahl voneinander unabhängiger Signalelektroden (20) geätzt ist, die mit einer einzigen Folien-schicht zusammenwirken, um eine Anordnung unabhängiger Ultraschallwandler zu bilden.

6. Detektor nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet,

daß das Kupfer zur Bildung einer ineinandergreifenden Elektrodenstruktur mit Senderelektrode(n) (52) und Empfängerselektrode(n) (56) geätzt ist.

7. Detektor nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die gegenüberliegende Fläche der gedruckten Schaltungsplatte (18) zum Anschluß als Erdungsebene (26) ganz oder im wesentlichen mit Kupfer bedeckt ist.

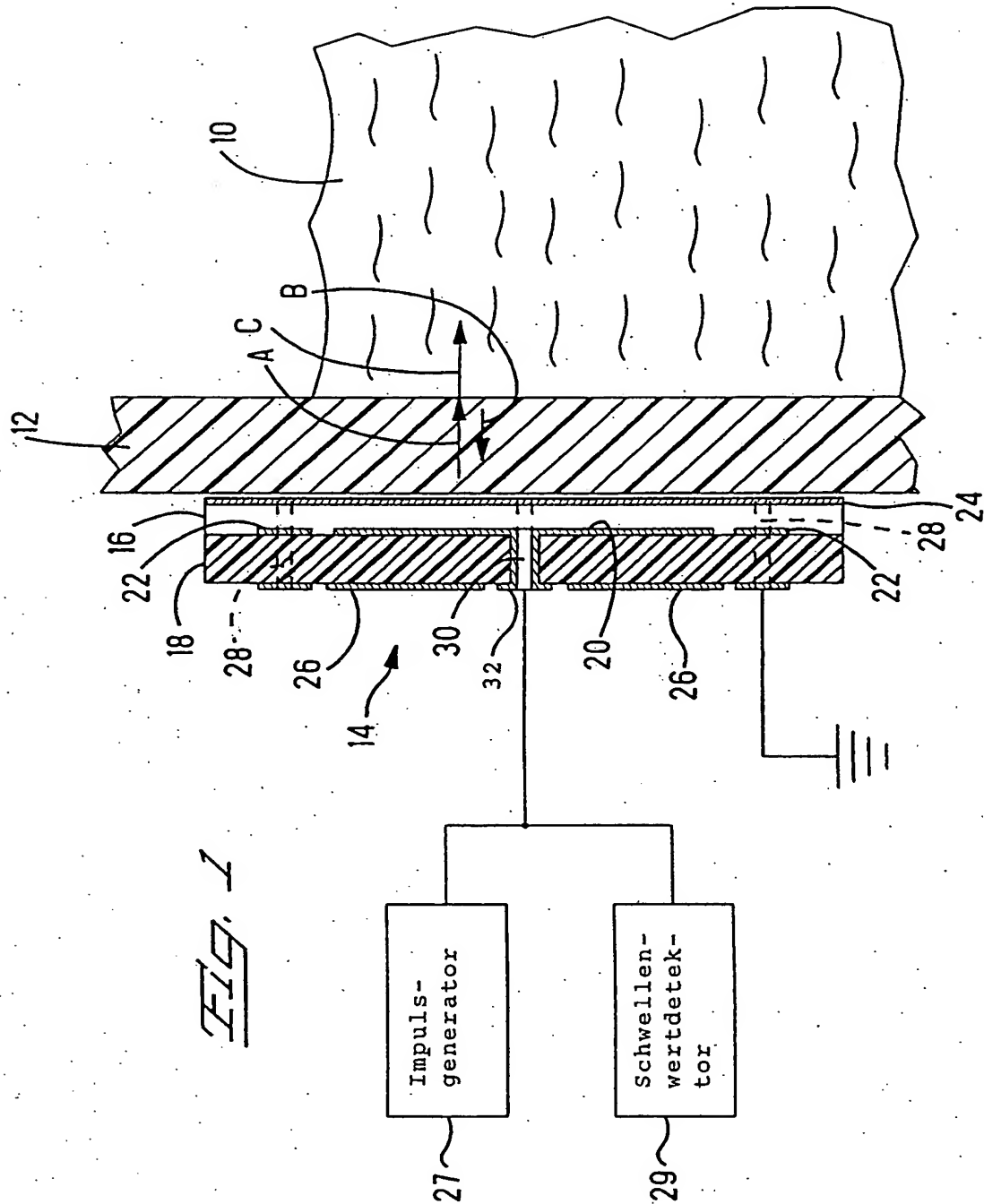
8. Detektor nach einem der vorausgehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Materialschicht (12) Teil der Wand eines Behälters ist.

9. Detektor nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Materialschicht Teil einer Umhüllung (42) ist, die den Detektor (31) umschließt und eine Platzierung des Detektors (31) in einen Behälter gestattet.

10. Detektor nach einem der vorausgehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Materialschicht (12, 42) eine Dicke von 0,5 mm bis 50 mm und eine akustische Impedanz von 1 bis  $10 \times 10^8$  Nsm<sup>-3</sup> aufweist.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -



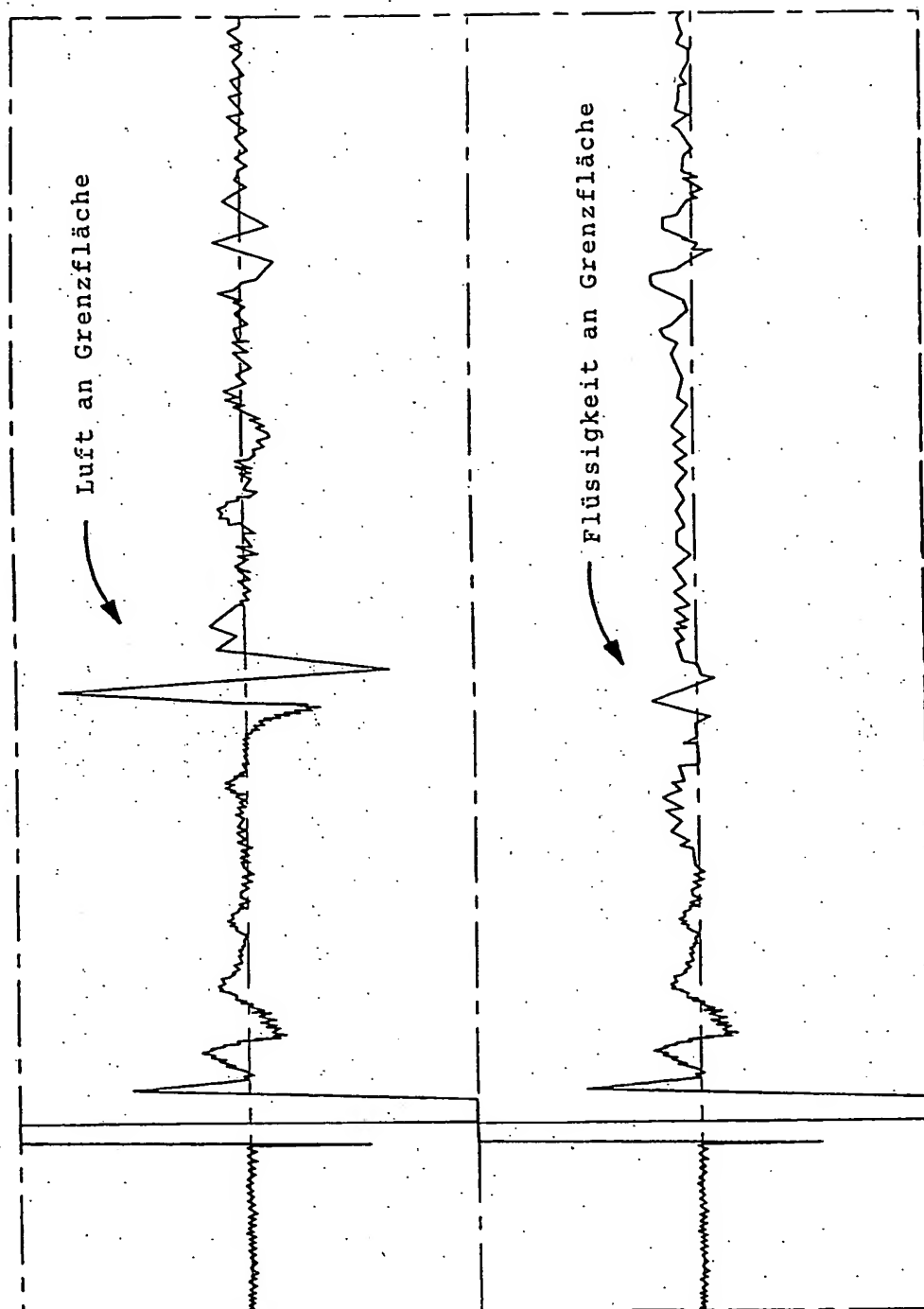
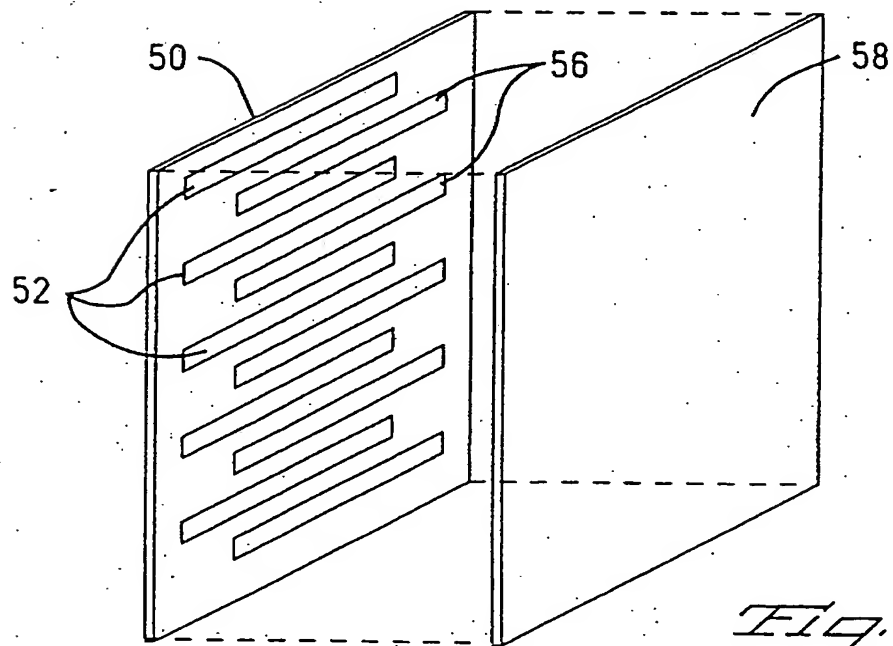
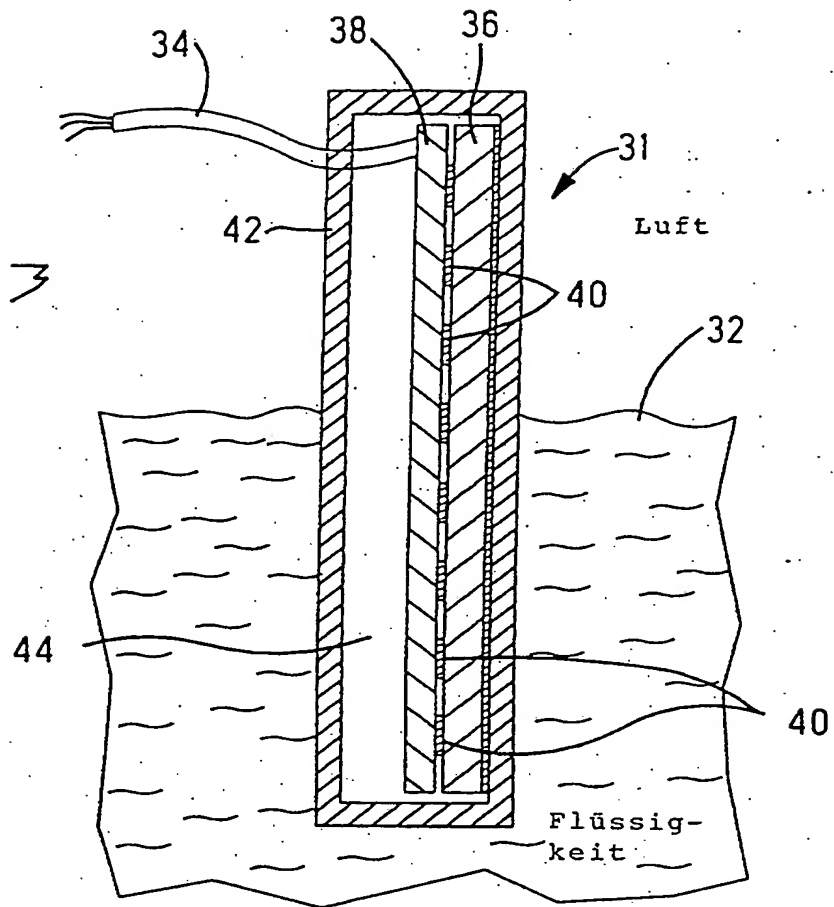


Fig. 2

*Fig. 3*



*Fig. 4*